

# 대중교통 연계를 고려한 도심형 접이식 자전거 개발

정태성<sup>#</sup>

## Development of an Urban Folding Bike for Public Transportation

T. S. Jung

(Received December 18, 2012 / Revised December 28, 2013 / Accepted January 9, 2013)

### Abstract

The bicycle is one of the most important eco-friendly transport methods which can mitigate global warming. The portability of a bike on public transportation systems is essential for the wide spread use of bicycles by people in urban environments. In this study, a lightweight urban folding bike was developed with careful consideration of the association with public transport. A folding frame using a moving slide link mechanism made from AL6061 is proposed. Numerical analysis was conducted to evaluate structural safety of the bike in both vertical and pedal loading tests. The proposed urban folding bicycle weights only 10kg and summation of its width, length, and height in the folded configuration is under 158cm .

**Key Words** : Urban Folding Bike, Variable Link Mechanism, Folding Hinge, Lightweight, Numerical Analysis

### 1. 서 론

최근 국제 유가 상승과 환경오염에 대한 대응이 강조되며 세계적으로 친환경 기술이 각광을 받고 있다. 이러한 문제의 대안으로 이산화탄소 배출이 없으며 편의성이 높은 친환경 운송수단인 자전거에 대한 관심이 높아지고 있으며, 정부차원의 자전거관련 정책 지원과 사회 전체에 유행하는 웰빙 트렌드와 맞물려 수요가 지속적으로 높아질 전망이다[1~5].

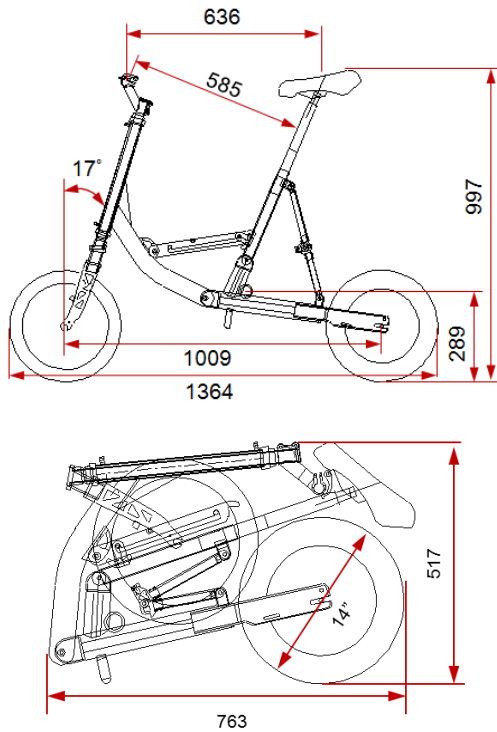
일상 생활에서 이동 용도의 성인용 자전거는 차체의 구조에 따라 일반형과 접이식으로 구분할 수 있으며, 도시 생활의 특성상 대중교통과 연계된 도심형 자전거로서 접이식 자전거의 활용 빈도가 높아지고 있다. 한편, 철도, 항공 등 다수의 대중 교통수단에서는 안전사고 예방과 질서유지를 위해 길이·너비·높이 세 변의 합이 158cm 이내인 물품에 한해 휴대할 수 있도록

제한하고 있어 교통수단으로서 활용성을 고려한 도심형 자전거는 이를 만족하도록 개발되어야 한다.

일반적으로 접이식 자전거는 보관과 휴대가 편리하지만 접는 방식이 복잡하면 조작성이 떨어지고, 여러 종류의 경첩을 사용하기 때문에 구조적 강성이 낮으며, 일반 자전거에 비해 바퀴가 작고, 변속장치가 단순한 특징을 가지고 있어 주행성능이 떨어지는 단점이 있다.

본 연구에서는 편리한 절첩 조작성과 내구성을 확보한 경량 차체, 주행성 등에 중점을 두어 기존 접이식 자전거의 문제점을 보완함으로써 접이식 자전거의 장점을 살리고, 일반 자전거의 안정성을 포함한 특징과 장점을 적용한 새로운 개념의 휴대용 접이식 자전거를 개발하였다. 제안된 도심형 접이식 자전거는 도심 대중교통에서의 수화물 규격을 만족할 뿐 아니라 새로운 형태의 가변 링크 구조를 이용하여 절첩이 보다

<sup>#</sup> Corresponding Author : Department of Mechanical Design Inha Technical College, E-mail: tsjung@inhac.ac.kr



**Fig. 1 Schematic diagram of developed urban folding bike**

편리하며, 총 무게 10kg 이하의 초경량으로 이동성이 높다. 또한, 7 단 기어와 직경 14 인치(inch) 크기의 전·후륜을 사용하여 주행성과 언덕 등판능력을 향상하였으며, 전산 구조해석을 이용하여 자전거 안전시험 규격에서 요구하는 차체의 내구특성을 평가하였다.

## 2. 접이식 자전거의 설계

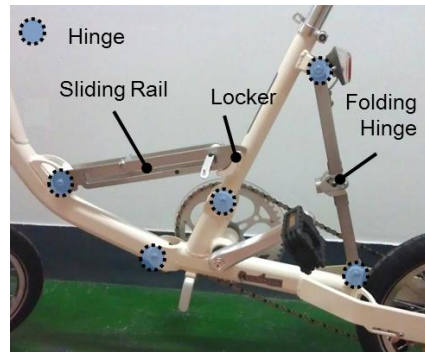
### 2.1 접이 구조 설계

자전거의 구조는 크게 프레임(frame), 안장(saddle), 바퀴로 구성된 본체부, 변속 장치 및 동력 전달부, 조향부, 브레이크를 포함하는 안전장치 등으로 구성되며, 각 부품들의 품질향상 및 원가절감, 개발기간 단축을 위해 표준화 및 모듈화가 활발히 진행되고 있다[4].

자전거는 인체 동력을 활용하는 운송기기로 자전거를 구성하는 각 요소의 거리 및 위치, 크기는 탑승자의 자세를 결정하며, 운행에 필요한 적정 힘을 발휘하는데 주요한 변수로 작용한다. 따



**(a) Folding sequence**



**(b) Folding mechanism**



**(c) After folding sequence 2**



**(d) After folding sequence 4**

**Fig. 2 Photograph of developed urban folding bike**

라서 사용상의 안정성과 편리성 확보를 위하여 인체공학적인 원리를 디자인에 적용하여야 한다.

본 연구의 접이식 자전거의 구조 설계에서는 이러한 점을 고려하여 프레임의 사이즈와 안장 및 페달의 높이, 핸들바(handle bar)의 위치 등 탑승

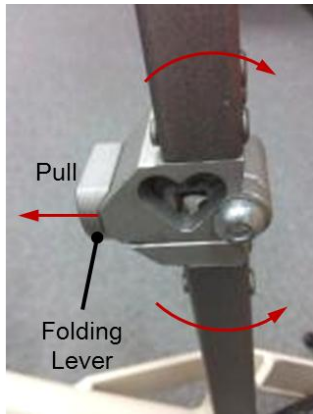


Fig. 3 Rear folding hinge

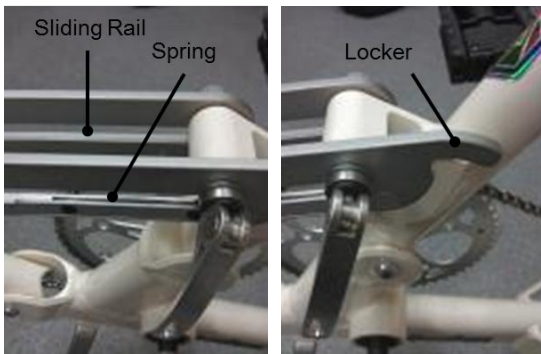


Fig. 4 Sliding rail and locker



Fig. 5 Front wheel folding locker

자세와 관련한 주요 치수를 비접이식 자전거와 최대한 동일하도록 하였다. Fig. 1 은 개발된 도심형 접이식 자전거의 개략적인 구조와 크기를 보여준다.

Fig 2(a)는 개발된 자전거의 접이 방식을 보여준다. 개발된 접이식 자전거는 안장바 이동(동작 1), 후단 절첩 접음(동작 2-1), 핸들바 접음(동작 3), 앞포크(fork) 접음(동작 4)의 순서로 조작되며, 원터치 방식의 후단 절첩 장치가 접히면 슬라이딩 레일(sliding rail)을 타고 본체가 자동적으로 꺾이도록

하여 접는 방식을 단순화하였다.

후단 절첩 기구는 Fig. 3 과 같이 개발되었으며, 내부 구조는 스프링과 고정핀의 형태로 이루어지는데 앞 단의 레버를 당기면 접히고, 밀어서 퍼면 스프링에 연결된 고정핀에 의해 자동으로 잠기도록 설계되었고, 내구성 강화를 위하여 경질 도금하여 제작하였다.

슬라이딩 레일의 끝 단에는 Fig. 4 와 같이 걸쇠를 달아 주행 시 안전성을 향상하였으며, 레일의 장공부에는 강판 탄성체를 삽입하여 레일의 미끄러짐 속도를 늦춤으로써 갑작스러운 접힘 동작으로 인한 사용자의 부상을 방지하였다.

Fig. 5 는 앞바퀴 고정용 잠금 장치를 보여 주며, 앞포크 접음(동작 4) 이후에 완전히 접은 후 상태를 유지하도록 함으로써 이동 시 접힘 상태가 풀어지는 것을 방지하였다.

## 2.2 주행 성능

접이식 자전거에서 작은 바퀴를 사용하면 휴대성은 증가되지만 주행 노면의 굴곡에 따른 외란에 취약하고 주행성이 떨어지는 단점이 있다. 본 연구에서 개발된 접이식 자전거는 일반적인 대중교통의 수하물 규격을 만족할 뿐 아니라 주행 성능 향상을 위하여 전·후륜 모두 14 인치 바퀴를 사용하였으며, 중동축에 7 단 기어를 장착하고 원터치 방식의 변속장치를 적용하여 쉽고 정확하게 기어 비를 변경할 수 있게 하였다. 7 단 기어에 적용된 원동축의 스프로킷(sprocket) 잇수는 56T, 중동축이 11T/ 12T/ 14T/ 16T/ 18T/ 21T/ 24T 이고 이에 따른 변속 비는 Table 2 와 같다.

Table 2 Gear ratio of developed folding bike

	No. of teeth	Gear ratio
Driving axle	56	-
	11	0.20
Driven axle	12	0.21
	14	0.25
	16	0.29
	18	0.32
	21	0.38
	24	0.43

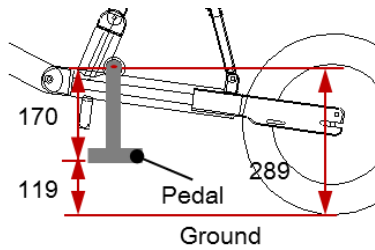


Fig. 6 Pedaling axis design

개발된 자전거의 뒷바퀴 크기가 14 인치이므로 85rpm 으로 페달링(pedaling) 시 변속비에 따른 최대 속도는 약 29km/h, 최저 속도는 13.5km/h 이고, 오르막 길 주행 성능을 좌우하는 페달 1 회전시 최소 이동거리는 2.6m 이내 이다.

한편, 일반적으로 자전거 주행 중 지면 요철과 페달 사이의 간섭을 방지하기 위해서는 지면과 페달간의 거리를 최소 90mm 이상으로 설계하여야 한다. 그러나, 바퀴가 작은 접이식 자전거에서 이를 만족시키기 위하여 페달과 허브 축간의 거리를 비접이식 자전거에 비해 짧게 설계할 경우 탑승자가 안장에 승인 시 불편함을 느끼게 되고, 구동 토크(torque)가 정상적으로 전달되지 않는 문제점을 가지게 된다. 본 개발에서는 뒷바퀴로부터 허브 축까지 이어지는 프레임 하부를 경사지게 설계하여 페달과 허브 축간의 거리를 일반 자전거와 동일한 170mm 로 함으로써 토크 전달력을 향상하였다.

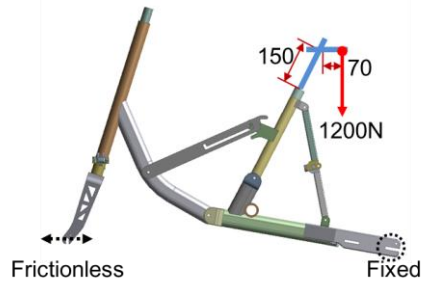
### 3. 전산 구조해석을 통한 안전성 검증

자전거는 장기간의 내구성과 안전성을 요하는 운송기구로서 각 부품은 일정한 안전 규격을 만족하도록 법제화되어 있다.

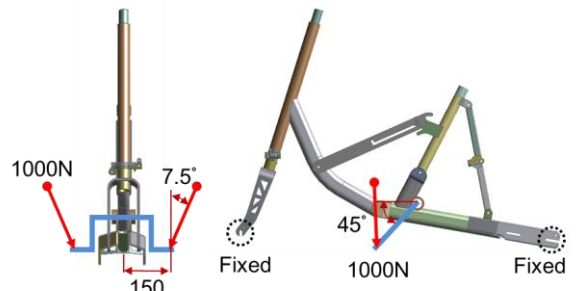
주행 중 사용자의 무게, 다양한 지면 조건에 따라 발생하는 반복하중은 차체(frame)를 구성하는 튜브형태의 부재에 미소한 균열이나 물리적 손상을 일으켜 궁극적으로 피로 파손(fatigue)에 이르게 한다. 프레임의 피로 수명은 제품의 신뢰도에 직접적으로 영향을 미치는 설계 요소일 뿐 아니라 사용자의 안전을 심각하게 위협할 수 있어 DIN, JIS, EN 등 각종 규격에서 내구성 시험 방법을 규정하고 있다[4].

Fig. 7 및 Table 3 는 지식경제부 산하 기술표준원이 제정한 이륜자전거에 대한 자율안전확인기준에서의 내구성 시험 방법인 페달력을 인가한 프

	Vertical loading test	Pedal loading test
Load	1200N	1000N
Fatigue Life	50,000 Cycles	100,000 Cycles



(a) Vertical loading test



(b) Pedal loading test

Fig. 7 Durability tests for safety of bicycle



Fig. 8 Analysis model and elements

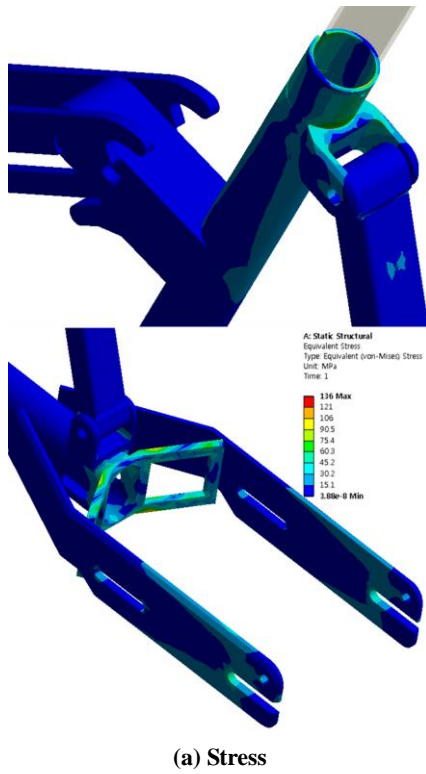


Fig. 9 Vertical loading test analysis

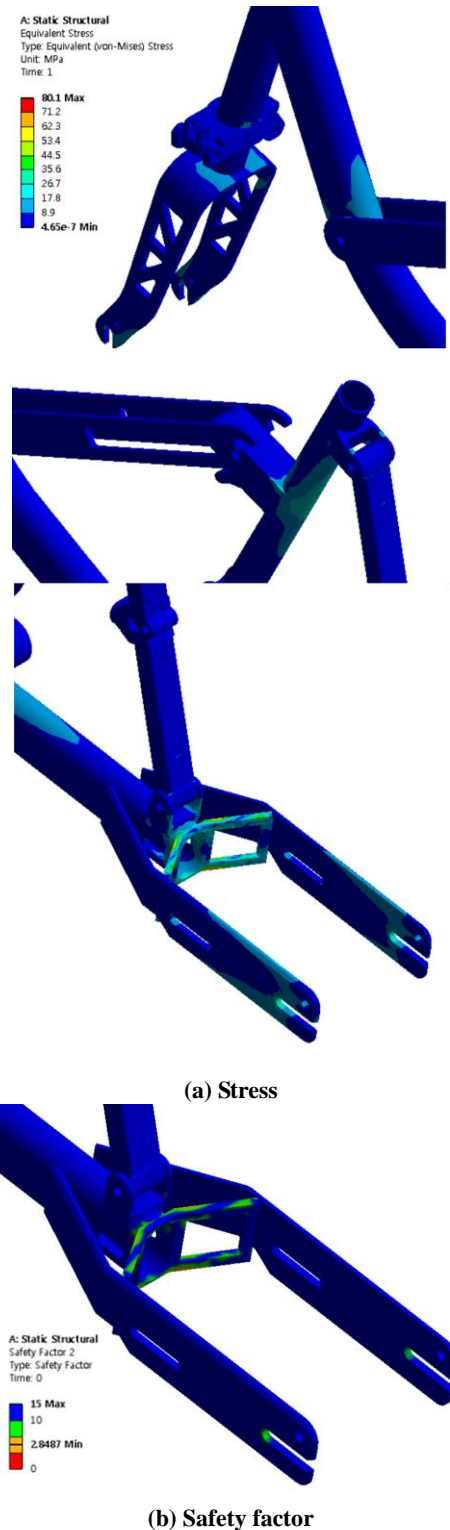


Fig.10 Pedal loading test analysis

레이밍 피로시험(pedal loading test)과 수직하중 피로시험(vertical loading test) 조건을 보여준다[5~6]. 페달력을 인가한 프레임 피로시험은 승차자가 선 상태에서 페달링을 할 경우 페달에 체중에 가까운 하중이 걸려 프레임에 전달되는 상황에 대한 시험이고, 앉아서 주행할 경우 체중이 핸들과 안장을 통해 시트 튜브에 전달되는 상황이 수직하중 피로 시험이다.

본 연구에서는 설계된 가변 링크형 접이식 자전거 차체의 강성이 자전거 안전 규정에 부합하는지 확인하기 위하여 각각의 하중 조건에서 강도 및 피로 내구성에 대한 구조 해석을 실시하였다. 자전거 차체의 내구성 해석을 위한 해석용 S/W 는 Ansys v14.0 을 사용하였으며, 메쉬(mesh) 는 Fig. 8 와 같이 3 차원 삼각형 망으로 생성하였고, Node 의 개수는 총 399,054 개 요소의 개수는 210,499 개이다.

Fig. 9(a)는 수직하중 인가에 대한 해석 결과로 유효 응력분포를 보여준다. 접이식 자전거 차체에 수직하중이 가해졌을 때 응력은 안장봉과 프레임의 연결부위, 후륜 브라켓과 메인프레임 연결부에 집중적으로 분포하고 있으며, 안장봉과 프레임의 연결부위에서 최대 등가응력이 발생하는 내구 특성을 보였다. 또한, 이 부위에서 피로 파괴가 발생할 확률이 높음을 알 수 있다. 그러나, 예측되는 최대 등가 응력은 약 136MPa 로 알루미늄 합금강의 항복응력이 280MPa 임을 감안할 때 충분히 안전하다고 판단되며, 피로 수명을 Goodman 이론을 적용하여 예측하고[7], 설계 내구수명을 50,000 회로 하였을 때 최저 안전율은 Fig. 9(b)에서 보이는바와같이 1.77 이상으로 안전하게 설계되었음을 알 수 있다.

페달링 하중 인가에 대한 내구성 해석 결과는 Fig. 10(a), (b)와 같으며, 최대 등가응력은 앞바퀴 포크와 핸들 포스트의 연결부에서 약 80.1MPa 로 예측되었다. 설계 내구수명을 100,000 회로 하였을 때 최저 안전율은 2.848 이상으로 안전성에 문제가 없는 것으로 확인되었다.

#### 4. 결론

본 연구를 통해 가변 링크 구조를 이용하여 접이식 자전거에서 요구되는 소형화, 경량화, 공간 효율화, 접이 방식의 간편성, 탑승의 편리성 등을 만족하는 경량 도심형 자전거를 개발함으로써 자전거 활용의 증대에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 다음의 결론을 얻었다.

(1) 본 연구에서 개발된 접이식 자전거의 절첩시 총 크기는 일반적인 도심 대중교통에서의 수하물 규격을 만족하는 157cm 이고, 차체 재질은 AL6061을 사용하였으며, 총 무게는 10kg 이하로 휴대성을 강화하였다.

(2) 본 연구에서는 자전거의 안전성을 확보하고, 프레임 설계와 제작기간을 단축하며, 시행착오에 따른 시험 비용을 절감하기 위해 유한요소해석을 이용하여 일반적인 자전거 안전시험 규격인 수직하중과 페달링 하중에서 프레임의 내구 특성을 평가하였다.

(3) 개발된 자전거는 7단 기어와 직경 14인치 크기의 전·후륜을 사용하여 최고 29km/h의 주행성과 언덕에서의 등판능력을 향상함으로써 휴대형 도심형 자전거의 크기 제한과 자전거로서의 주행성능을 만족하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P. Lee, I. H. Whang, J. H. Woo, S. W. Park, D. K. Oh, G. B. Lee, 2011, Development of Product Management System for Higher-Value-Added Bicycle, Trans. Kor. Soc. Mech. Eng. A., Vol. 35, pp. 467~477.
- [2] W. R. Bae, D. W. Shin, B. K. Shim, B. N. Kim, S. I. Shin, Y. K. Kwon, 2010, Proc. Kor. Soc. Precis. Eng. Spring Conf.(editor: E. S. Lee), Kor. Soc. Precis. Eng., Seoul, Korea, pp. 853~854.
- [3] B. S. Lee, 2003, Design and Manufacture of CFRP for Bicycle Frame, J. Kor. Soc. Precis. Eng., Vol. 20, No. 6, pp. 130~137.
- [4] H. J. Choi, S. J. Lim, Y. Y. Ok, K. H. Oh, 2011, Proc. Kor. Soc. Precis. Eng. Spring Conf.(editor: H. Z. Choi), Kor. Soc. Precis. Eng., Seoul, Korea, pp. 1271~1272.
- [5] Y. S. Lee, K. H. Shin, S. K. Cheong, Y. J. Choi, Y. K. Kim, K. R. Park, H. S. Kim, 2012, Kor. Soc. Mech. Eng. Production and Design Div. Spring Conf.(editor: T. J. Ko), Kor. Soc. Mech. Eng., Seoul, Korea, pp. 163~164.
- [6] Korean Agency for Technology and Standards, 2013, Product Safety Portal, <http://www.safetykorea.kr>.
- [7] M. J. Song, S. Y. Jung, B. C. Hwang, C. Kim, 2010, A Study on Structure Analysis and Fatigue Life of the Common Rail Pipe, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 2, pp. 88~94.